

Strom & Wärme



Universität Hannover
Institut für Elektrothermische Prozesstechnik
Prof. Dr.-Ing. B. Nacke

Universität Hannover

Glasschmelzen ohne Tiegel am ETP

Induktives Skull-Melting von Glas im Induktortiegel

Erstmals wurde am ETP Glas mit Hilfe der induktiven Skull-Melting-Technologie (ISMT) tiegellos geschmolzen.

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme der neuen Skull-Melting-Anlage im Oktober 2003 konnten bereits mehrere Schmelzversuche mit Oxiden mittels der ISMT durchgeführt werden. Hierbei stand ein sogenannter Kalter Tiegel mit einem separaten Induktor als Schmelzaggregat zur Verfügung. Das ETP zeigte, dass sowohl niedrigschmelzende Oxide wie der Supraleiter YBCO als auch hochschmelzende Oxide wie Zirkoniumoxid (ZrO_2) erfolgreich mit der neuen Schmelzanlage geschmolzen werden können. Es wurden

Schmelzentemperaturen von ca. 1300 °C im Fall von YBCO bzw. über 3000 °C bei ZrO_2 erreicht.

Die jüngste Herausforderung bestand darin, einen Schmelzversuch ohne Kupfertiegel in einem sogenannten Induktortiegel, der einen einwindigen Induktor darstellt, durchzuführen. Der Prototyp weist einen Durchmesser von 250 mm und eine Höhe von 160 mm auf. Mit einem Keramikboden, in dem eine Kupferplatte eingebettet ist, wird der Induktortiegel von unten abgeschlossen. Die starke Wasserkühlung sowohl im Induktortiegel als auch in der Bodenplatte sorgt für die Ausbildung der Skullschicht um die Schmelze. Das Ausgangsmaterial, welches im Wesentlichen in Form von Glasscherben vorliegt, wird direkt in den Induktortiegel eingefüllt und anschließend an der Oberfläche unter Zuhilfenahme eines Gasbrenners vorgeheizt. Sobald eine flüssige Glasschicht an der Oberfläche entstanden ist, wird der Transistor-Umrichter eingeschaltet. Anhand der Änderung der zugeführten Leistung wird erkennbar, ob das Glas an das elektromagnetische Feld angekoppelt hat. Ist das der Fall, wird der Brenner aus der Schmelzkammer entfernt. Der Schmelzpro-

zess wird rein induktiv weitergeführt und durch Leistungsanpassung stabilisiert. Das geforderte Schmelzvolumen wird durch das Nachchargieren erzielt. Anschließend wird die Schmelze auf Temperatur gehalten oder gezielt überhitzt bzw. abgekühlt, bis das Glas mit seinen gewünschten Eigenschaften zur Weiterverarbeitung bereitsteht.

Mit den ersten erfolgreichen Glasschmelzversuchen im Induktortiegel ist es dem ETP gelungen, eine für Industrie und Forschung zukunftsorientierte Schmelztechnologie vorzustellen, die zahlreiche innovative Anwendungsgebiete erschließen wird. ■

Inhalt

Glasschmelzen ohne Tiegel	1
3D Temperaturverteilung in Kammeröfen	2
Züchtung von Si-Einkristallen	3
Neues EU-Projekt	3
ETP auf MATERIALICA	4
Symposium HES 2004	4

Induktortiegel Skull erstarrtes Glas



Erstarrtes Glas, induktiv geschmolzen im Induktortiegel

3D Temperaturverteilung in Kammeröfen

Entwicklung eines benutzerfreundlichen Simulationsprogrammes

Bei industriell genutzten Kammeröfen ist die indirekte Beheizung anhand von brennstoffbefeuerten oder elektrisch betriebenen Heizelementen die meist verbreitete Erwärmungsart. Diese Erwärmungsart ist gut erforscht und weist mehrere Vorteile auf. Hierunter fällt besonders die mögliche Vielfalt von Geometrie und Materialeigenschaften des zu erwärmenden Einsatzgutes.

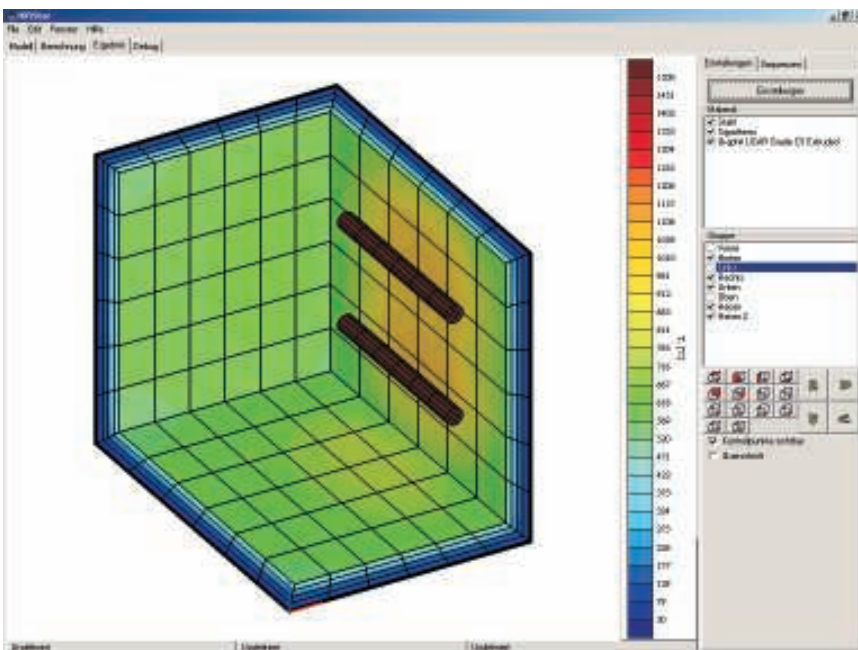
Von den Kunden werden hohe Ansprüche an die Ofenbauer bezüglich der gewünschten Temperaturverteilung im Ofeninnenraum gestellt. Diese Anforderungen führen dazu, dass die vorhandenen Ofentypen mit neuen Variationen ausgelegt werden müssen, sowie vorhandene Ofenkonstruktionen und Wärmebehandlungsprozesse weiterzuentwickeln und zu optimieren sind. Eine

genauere Berechnung der Temperaturverteilung ist mit derzeit vorhandenen kommerziellen Programmen durchaus möglich. Diese numerischen Programme sind jedoch sehr komplex aufgebaut und aufwendig und erst nach langer Einarbeitung zu bedienen. Weiterhin erfordern derartige Programme zusätzliche Investitionen für die, im allgemeinen jährlich anfallenden, Lizenzgebühren. Ein Anwenderprogramm, das speziell für die Zwecke des Industrieofenbaus entwickelt wird, würde somit zu einer deutlichen Zeit- und Kostenersparnis führen.

Finanziert durch die FOGI (Forschungsgemeinschaft Industrieofenbau e. V.) wurde ein derartiges anwendungsfreundliches Berechnungsprogramm im Rahmen eines Forschungsprojektes am Institut für

Elektrothermische Prozesstechnik entwickelt. Dieses Programm ist zur Bestimmung der stationären und instationären dreidimensionalen Temperaturverteilung in indirekt beheizten Kammeröfen einsetzbar. Dabei werden sowohl elektrische widerstandsbeheizte als auch über Strahlrohre brennstoffbeheizte Kammeröfen einbezogen. Da die Temperaturverteilung auch durch die Ofenbestückung beeinflusst wird, besteht die Möglichkeit, einfache, z. B. quader- oder zylinderförmige Werkstücke bei der Berechnung zu berücksichtigen. Das Berechnungsprogramm ist in einer modernen Programmiersprache geschrieben und auf handelsüblichen PCs effizient einsetzbar, wozu die praxisorientierte und anwenderfreundliche Benutzeroberfläche des Programms einen großen Anteil beiträgt.

Die Berechnungen der Temperaturverteilung mit dem entwickelten Programm werden bei Verwendung gleicher Hardwareressourcen schneller als mit kommerziellen Programmen durchgeführt. Die erzielten Berechnungsergebnisse wurden erfolgreich mit experimentell an einem Industrie-Kammerofen gemessenen Werten verglichen. Für einige Ofentypen wurde die Temperaturverteilung zur Überprüfung zusätzlich mit kommerzieller Simulationssoftware überprüft. ■



3D-Temperaturverteilung in einem Quaderofen mit zwei Heizern



Züchtung von Si-Einkristallen

Elektromagnetische Felder verbessern die Qualität

Für das industrielle Ziehen von Si-Einkristallen werden zwei Verfahren eingesetzt: das Czochralski-(CZ-)Verfahren zur Herstellung von Silizium für Mikroelektronikbauelemente und das Floating-Zone-(FZ-)Verfahren zur Herstellung von Silizium für Bauelemente der Leistungselektronik. Der Einsatz von zusätzlichen elektromagnetischen Feldern beim CZ-Verfahren als auch die gezielte Auslegung des Induktors beim FZ-Verfahren ermöglichen, die Qualität der produzierten Silizium-einkristalle zu steigern und die Kristalldurchmesser zu vergrößern.

Auf dem Gebiet der Si-Einkristallzüchtung besteht eine langjährige Zusammenarbeit mit der Siltronic AG in Burghausen, einer der größten Halbleiterhersteller weltweit.

Die von zusätzlichen elektromagnetischen Feldern erzeugten Kräfte können gezielt genutzt werden, um die üblicherweise konvekti-

ven Strömungsbewegungen in der Si-Schmelze beim widerstandsbeheizten CZ-Prozess so zu beeinflussen, dass der Wärme- und Stofftransport in optimaler Weise gestaltet werden kann. Dabei werden unterschiedliche Feldvarianten eingesetzt: Gleichfeld, Wechselfeld sowie Wanderfeld. Von besonderer Bedeutung für die Qualität des produzierten Einkristalls sind dabei die resultierenden Temperatur- und Wärmeflussverhältnisse unterhalb der Kristallisationsfront, die das Kristallwachstum entscheidend bestimmen.

Beim FZ-Prozess, der prinzipiell bereits induktiv beheizt ist, können die elektromagnetischen Kräfte durch gezielte Auslegung des Induktors ebenfalls so eingestellt werden, dass der resultierende Wärme- und Stofftransport in der Schmelzzone sowohl das Abschmelzen des Vorratsstabs als auch die Temperatur- und Dotierstoffbedingungen an der Kristallisationsfront sowie die Form der Kristallisationsfront selbst optimal beeinflusst, um eine bestmögliche Kristallqualität zu erreichen.

Elektromagnetische Felder werden nicht nur im Bereich der Si-Einkristallzüchtung gezielt genutzt, auch in anderen Bereichen wie zum Beispiel der Erstarrung von Sonderlegierungen oder bei der Kristallzüchtung anderer Halbleiter wie Silizium oder III-V-Halbleiter laufen derzeit Entwicklungen, elektromagnetische Felder zur Steigerung von Qualität und Produktivität einzusetzen. ■

Neues EU-Projekt

Erwärmen mit Supraleiter

In einem neuen dreijährigen Forschungsprojekt arbeitet das Institut für Elektrothermische Prozesstechnik mit neun europäischen Partnern an der Entwicklung eines Erwärmers für Aluminiumblöcke, der einen besonders hohen Wirkungsgrad von über 90 % aufweisen wird. Heutige konventionelle induktive Erwärmer für Aluminiumblöcke, die in Strangpressanlagen weiterverarbeitet werden, besitzen Wirkungsgrade von 50 bis 60 %.



Ermöglicht wird die hohe Effizienz durch ein neuartiges Konzept, bei dem der Aluminiumblock in einem hohen magnetischen Gleichfeld rotiert, das durch den Einsatz von Supraleitern nahezu verlustlos realisiert wird. Die Induktion erfolgt also nicht, wie es konventionell der Fall ist, durch einen hochfrequenten Wechselstrom, sondern durch die Bewegung eines elektrischen Leiters im magnetischen Gleichfeld.

Nach der Entwicklung der Einzelkomponenten wird die Anlage am ETP aufgebaut und in Betrieb genommen. Hierbei ist das Institut federführend. Des Weiteren trägt es mit der Entwicklung eines Temperaturmesssystems in Verbindung mit einer Prozesssteuerungseinheit zum Gelingen des Verbundprojekts bei. ■



Im Czochralski-Prozess gezogener einkristalliner Silizium-Stab

ETP auf der MATERIALICA 2004

Induktives Skull-Melting von innovativen Materialien

Forschen für die Zukunft hieß das Motto des Gemeinschaftsstandes verschiedener Bundesländer, auf dem sich das Institut für Elektrothermische Prozesstechnik während der MATERIALICA 2004 vom 21. bis 23. September in München präsentierte. Die MATERIALICA gilt als internationale Fachmesse für Werkstoffanwendungen, Oberflächen und Product Engineering und verzeichnete 308 Aussteller und etwa 6.300 Fachbesucher. Gleichzeitig fand die Werkstoffwoche 2004, eine der größten internationalen Kongresse auf dem Gebiet innovativer Werkstoffe, Verfahren und Anwendungen statt. Im Mittelpunkt des Messeauftritts des ETP stand die induktive Skull-Melting-Technik (ISMT), die das hochreine Schmelzen reaktiver Werkstoffe mit Temperaturen von bis zu 3000 °C ermöglicht.

Sowohl metallische Hightechwerkstoffe als auch elektrisch schwachleitfähige innovative Werkstoffe, wie Oxide, Gläser und Keramiken, lassen sich mit der ISMT in höchster Qualität schmelzen. Im Gegensatz zur Verwendung von keramischen Tiegeln entsteht beim wassergekühlten Induktortiegel eine Schicht erstarrten Schmelzenmaterials, der sogenannte Skull. Der Skull schützt die Schmelze vor Verunreinigungen durch den Tiegel. Daher eignet sich die ISMT zum Schmelzen chemisch äußerst reaktiver Hochtemperaturmaterialien in besonderem Maße. Zur Durchführung praxisnaher induktiver Hochtemperatur-Schmelzprozesse steht eine in

Größe und Ausführung einzigartige, neue multifunktionale Schmelzanlage am ETP zur Verfügung.



Starkes Interesse am Messestand des ETP

Die vom ETP auf der MATERIALICA präsentierte ISMT, die anhand eines realen Schmelzaggregats in Form eines Induktortiegels quasi „zum Anfassen“ vorgestellt wurde, zog zahlreiche Fachbesucher auf dem Messestand an. Viele fachliche und anwendungsbezogene Gespräche zeigten das große Interesse nicht nur von wissenschaftlicher sondern insbesondere von industrieller Seite. Zahlreiche neue Kontakte konnten geknüpft werden, so dass die Präsentation des Instituts auf der MATERIALICA 2004 ein großer Erfolg war. ■

Redaktion:

Dipl.-Ing. Elmar Wrona
Prof. Dr.-Ing. Egbert Baake
Telefon: 05 11 / 7 62 - 22 90
Telefax: 05 11 / 7 62 - 32 75
E-Mail: ewh@ewh.uni-hannover.de
URL: www.etp.uni-hannover.de

Symposium HES04

UIE-PhD-Intensive Course

Mit großem Erfolg fand vom 22. bis 25. Juni dieses Jahres das internationale Symposium HES-04 unter dem Titel „Heating by Electromagnetic Sources“ in Padua statt. Es wurden fast 100 Beiträge in Form von Vorträgen und Postern präsentiert. Dabei erstreckte sich das Themenspektrum vom induktiven Erwärmen und Schmelzen über die konduktive und dielektrische Erwärmung bis hin zur Modellierung und Optimierung der elektromagnetischen, thermischen und hydrodynamischen Prozesse. Mit insgesamt 12 Beiträgen präsentierte das ETP eindrucksvoll seine aktuellsten Forschungsergebnisse.

Im Vorfeld dieses Symposiums fand vom 16.-22. Juni zum ersten Mal ein „UIE Intensive Course for PhD Students“ unter maßgeblicher Beteiligung des ETP statt. Insgesamt 22 junge Wissenschaftler aus ganz Europa kamen in Padua für eine Woche zusammen, um gemeinsam Kurse zu besuchen sowie praktische Versuche und Computersimulationen zum induktiven Erwärmen und Schmelzen durchzuführen. Der Intensivkurs wurde von der UIE (International Union for Electricity Applications) ausgerichtet und soll voraussichtlich im Jahr 2006 in Riiga stattfinden. ■

Herausgeber:

Institut für Elektrothermische Prozesstechnik und Vereinigung zur Förderung des Instituts für Elektrowärme der Universität Hannover e.V.